

## ПРОИЗВОДСТВО БИОСЕНСОРОВ РЕЗОНАТОРНОГО ТИПА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ПРЯМОЙ ЛАЗЕРНОЙ ПЕЧАТИ

А.В. Саечников<sup>1,2</sup>, Э.А. Чернявская<sup>1</sup>, В.А. Саечников<sup>1</sup>, А. Остендорф<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

<sup>2</sup>Рурский университет, Бохум, Германия

E-mail: [anton.saetchnikov@gmail.com](mailto:anton.saetchnikov@gmail.com)

За последнее десятилетие существенно вырос интерес к использованию оптических методов для изучения биологических объектов на микро- и наноуровнях [1, 2]. Компактность, экономичность и чувствительность среди основных причин повышения популярности оптических биосенсоров. Оптическая система детектирования, основанная на резонансе мод шепчущей галереи (МШГ), является одной из перспективных без-маркерных схем мониторинга биологических агентов [3, 4]. Обычно, резонаторы МШГ (сферической формы) изготавливаются путем нагревания и растяжения конца оптического волокна. Однако данный подход плохо масштабируем для создания мультиплексных биосенсоров [4]. Резонаторы МШГ в форме колец или дисков возможно изготовить поверх стеклянной или полимерной подложки с использованием методов фотолитографии, например, прямой лазерной печати (ПЛП), которая основана на принципе двухфотонной полимеризации (2ПП).

Для возбуждения 2ПП можно использовать фемтосекундный источник ближнего ИК-излучения с высокой пиковой интенсивностью. Этот процесс может быть вызван только в области, ограниченной в трех плоскостях, близкой к точке фокуса. Обычно фоторезисты имеют высокое поглощение в УФ диапазоне, но они прозрачны в видимом и ближнем ИК спектральном диапазоне. Таким образом, 2ПП позволяет создавать 3D-объекты произвольных форм, изменяя положение фокальной точки по всем направлениям пространства.

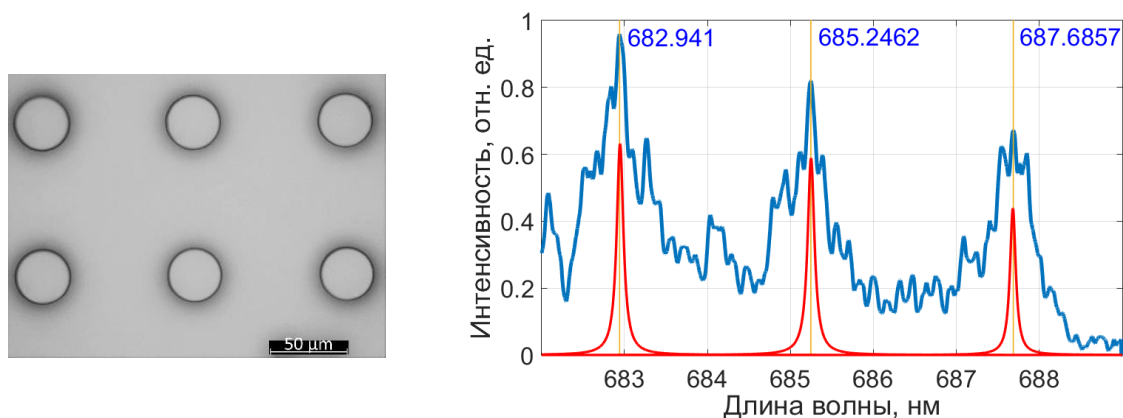
2ПП имеет ряд преимуществ для изготовления резонаторов МШГ:

- Возможность печати структур произвольной формы.
- Лазер ближнего ИК-излучения незначительно поглощается и рассеивается фоторезистом и не влияет на процесс полимеризации.
- Маска не требуется, поэтому уменьшается время подготовки пробы.
- Пространственное разрешение до 100 нм.

Экспериментальная установка состоит из титан-сапфирового лазера (Tsunami, Spectra Physics) с частотой повторения 82 МГц и длительностью импульса 90 фс на центральной длине волны 780 нм. Регулировка мощности обеспечивается фазовой пластинкой, и поляризационным светоделительным кубиком. В качестве затвора используется акустооптиче-

ский модулятор. Экспериментальная установка содержит также несколько зеркал и гальваносканер (Scanlab, Hurriscan II). Объектив с 100-кратным увеличением и числовой апертурой 1,4 фокусирует свет в фоторезисте. Перемещение образца в 3-х направлениях обеспечивается ортогональными платформами (Aerotech Inc., США).

Экспериментально были подобраны следующие параметры печати: средняя мощность лазерной системы 10 мВт, скорость передвижения точки фокуса 1 мм/с. Образцы проявлялись в растворе OrmoDev (MicroResist GmbH.) в течение 30 мин. Резонаторы МШГ дискового типа изготовленные 2ПП представлены на рис. 1, а).



(а) Резонаторы МШГ.

(б) Спектр резонатора МШГ.

Рис. 1. Результаты применения технологии 2ПП для производства резонаторов МШГ

Усредненный спектр МШГ полученный с использованием перестраиваемого лазера (New Focus, 680 нм) представлен на рис. 1, б). Свободный спектральный интервал составляет 2,37 нм. Для расчета добротности резонатора, спектр был аппроксимирован суммой функций Лоренца. Точность аппроксимации (средняя квадратичная ошибка) составляет  $2 \times 10^{-4}$ . Для трех наиболее выраженных МШГ, представленных на рис. 1, б), коэффициент Q составляет порядка  $10^4$ .

Резонаторы МШГ изготовленные с использованием технологии ППП обладают высокой воспроизводимостью, могут использоваться для плотной упорядоченной упаковки, поэтому являются перспективным кандидатом для создания оптических биосенсоров высокой плотности.

1. Su, J. // Sensors, 2017, V. 17, N. 3, P.540.
2. Saetchnikov V.A., Tcherniavskaia E.A., Saetchnikov A.V., Ostendorf A. // Nonlinear Phenomena in Complex Systems, 2015, V. 18, N 4, P. 443–455.
3. Saetchnikov A.V., Saetchnikov V.A., Tcherniavskaia E.A., Ostendorf A. // Proceeding of the SPIE, 2017, V. 10333, P. 1033314.
4. Saetchnikov V.A., Tcherniavskaia E.A., Saetchnikov A.V., et al. // Proceeding of the SPIE, 2016, V. 9884, P. 98841T.